

某金红石矿区富矿体特征及其矿选矿试验研究*

王顶明¹, 周新民², 李沛¹, 沈敬帆¹

(1. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院, 许昌, 461000; 2. 河南省岩石矿物测试中心, 郑州, 450012)

摘要:在研究刘岗金红石矿区地质特征, 金红石富矿体赋存特征, 金红石的赋存状态、嵌布特征及粒度变化特征的基础上, 采用新的选矿工艺对金红石矿进行了选矿试验。区内金红石富矿体赋存在左老庄组一段上部, 含矿岩石主要是黑云角闪片岩和黑云斜长角闪片岩。金红石多呈半自形柱状、短柱状、粒状嵌布在角闪石、斜长石等脉石矿物之间。采用磨矿擦洗—重选—磁选—重选—微生物选矿工艺流程, 获得最终精矿指标为: 品位(RTiO_2) 91.07%, 回收率(RTiO_2) 70.55%。微生物提纯金红石新方法的深入研究可作为开发利用南召—泌阳金红石矿带金红石矿的突破口。

关键词:金红石; 左老庄组; 矿体特征; 选矿工艺; 微生物提纯

中图分类号: P61925⁺9; TD975⁺9 文献标识码: B 文章编号: 1001-0076(2011)06-0073-06

The Features of High-grade Rutile Orebodies in Liugang Rutile Deposit and Rutile Ore Beneficiation Test

WANG Ding-ming¹, ZHOU Xin-min², LI Pei¹, SHEN Jing-fan¹

(1. The Second Geological Survey Institute, Henan Geological Survey Bureau, Xuchang 461000, China; 2. Henan Rock Mineral Testing Centers, Zhengzhou 450012, China)

Abstract: Based on the geological features, occurrence features of high-grade rutile orebodies, rutile occurrence state, distribution feature, grain size variation in Liugang deposit, experimental research on adopting new technology for rutile ore had been carried out. High-grade rutile orebodies were at the upper part of first Member of Zuolaozhuang Formation. The ore-bearing rocks were mainly biotite-hornblende schist and biotite-plagioclase-hornblende schist. Rutile was mainly embedded between rutile gangue minerals such as graininess of the hornblende and the feldspar, assuming self half shape post shapes much, owing post the shape. Using the dressing technical process of scrubbing-gravity concentration-magnetic separation-gravity concentration-microorganism, the concentrate of RTiO_2 91.07% with a recovery of RTiO_2 70.55% was obtained. New method for micro-purification-depth study of rutile could be used as breakthrough of development and utilization of rutile ore in Nanzhao-Biyang rutile ore belt.

Key words: rutile; Zuolaozhuang Formation; orebodies features; mineral processing; microbial purification

刘岗金红石矿区位于河南省南召—泌阳金红石矿带的中段西部, 方城县与南召县交界处。西距云

* 收稿日期: 2011-06-20; 修回日期: 2011-08-12

基金项目: [两权价款项目] 河南省国土资源厅地质矿产科技攻关项目(编号: 200626419)

作者简介: 王顶明(1963-), 男, 河南邓州人, 高级工程师, 学士, 现主要从事地质矿产勘查和研究工作。

阳火车站 4 km,交通便利;水电充足;矿体规模大,矿石品位较高且金红石颗粒较粗,开采条件优越。深入研究本区地质特征,探索新的选矿方法,对资源量巨大但至今仍为呆矿的南召—泌阳矿带金红石的开发利用具有重要意义^[1]。

1 矿区地层

左老庄组一段(Pt₂z¹):下部岩性主要为二云石英片岩;上部岩性主要为黑云角闪片岩和黑云斜长角闪片岩。本段上部为金红石富矿体主要赋存部位。

左老庄组二段(Pt₂z²):以二云石英片岩为主,夹黑云斜长片岩,其底部有一层深灰色石英岩,厚 0.5~2 m,在区内普遍发育,是左老庄组一段与二段分界及寻找金红石矿的标志层。该层石英岩之上(或以北),金红石含量骤然降低,无金红石矿存在。

第四系(Q):均为残坡积物和冲洪积物,以黄土为主,厚 0~3 m,在沟谷中相对较厚。

2 富矿体特征

金红石矿由地表向下可分为风化矿、半风化矿和原生矿。风化矿(或风化壳型金红石矿)为本次研究的对象。考虑到现有经济技术条件,本次以金红石边界品位 RTiO₂ ≥ 1.50%、工业品位 RTiO₂ ≥ 2.00%、可采厚度(水平假厚或宽度) ≥ 15 m、夹石剔除厚度(水平假厚或宽度) ≥ 6 m 作为划分富矿体的标准。主要依据探槽和浅井矿样分析结果,参考 1:1 万地质填图成果(岩性填图),划分出了区内金红石富矿体(见图 1)。区内有 4 个金红石富矿层,矿层产状与地层产状基本一致,倾角一般 60~75°。特征如下:

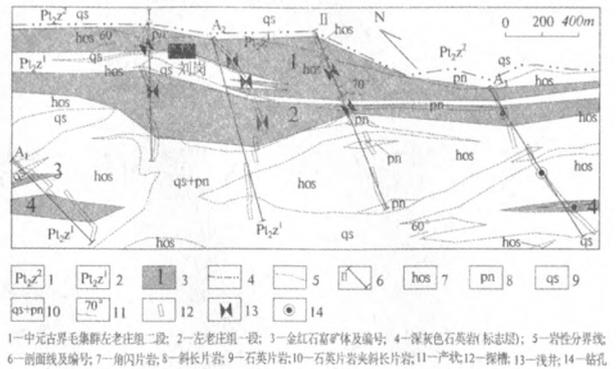


图 1 刘岗金红石矿区地质略图

1 号矿层:位于矿区北部,为单一矿体,矿体长度 > 3.3 km,宽 65~325 m。矿体宽度在 II 线最大,向两侧变薄,A₂ 线有两个夹层且向西尖灭。矿体厚度(风化矿石垂向厚度,下同) 4.00~9.20 m。RTiO₂ 含量 2.07%~2.20%,平均 2.13%。

2 号矿层:位于 1 号矿层南侧,为单一矿体,矿体长度 > 3.3 km,宽度 47~330 m。在 I 线和 A₂ 线宽度较大,向两侧变薄。矿体厚度 5.40~11.50 m。RTiO₂ 含量 2.02%~2.16%,RTiO₂ 平均含量 2.09%。

3 号矿层:位于矿区西南部,为单一矿体,矿体长度 > 270 m,向西延出区外,向东尖灭。宽度 0~27 m,RTiO₂ 含量 2.03%。

4 号矿层:位于矿区南部,在东部和西部各存在一个矿体。西部矿体长度 > 600 m,宽度 0~272 m,向西延出区外,向东尖灭,RTiO₂ 含量 2.15%;东部矿体长度 > 500 m,宽 75 m,向东延出区外,RTiO₂ 含量 2.05%,中部有夹石。

3 矿石特征

表 1 | 线剖面金红石矿石化学成分

项目	RTiO ₂	TTiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P	LoSS	S
角闪 1 号矿体(4)	2.01	2.80	47.02	13.24	12.16	7.62	8.38	1.80	0.49	0.21	4.25	0.01
片岩 2 号体(18)	2.06	2.79	48.97	13.74	11.85	6.69	7.23	1.95	0.60	0.18	4.19	0.01
类 均值	2.05	2.79	48.62	13.65	11.91	6.86	7.44	1.92	0.58	0.19	4.20	0.01
斜长 1 号矿体(5)	2.36	3.07	49.44	14.11	11.99	6.49	6.19	1.63	0.76	0.24	4.34	0.01
片岩 2 号矿体(2)	2.05	2.99	49.52	14.28	11.85	6.69	6.12	2.05	0.78	0.22	3.74	0.01
类 均值	2.11	2.85	48.82	13.77	11.92	6.78	7.13	1.88	0.63	0.20	4.19	0.01
平均值	2.16	2.92	49.04	13.90	11.93	6.70	6.80	1.84	0.67	0.21	4.18	0.01

测试单位:河南省地矿局第二地质勘查院化验室。

3.1 化学成分

矿石中金红石含量(RTiO_2)一般1.80%~2.30%。据I线化学多项分析(见表1),富矿体中斜长片岩类矿石的金红石含量(RTiO_2)稍大于角闪片岩类矿石,1号矿体的斜长片岩类矿石的金红石含量(RTiO_2)明显大于2号矿体,其它化学成分变化不大。1号矿体全钛(TTiO_2)含量2.51%~3.40%,平均2.95%;2号矿体全钛(TTiO_2)含量2.47%~3.54%,平均2.96%,与 RTiO_2 含量正相关。

3.2 矿石矿物

矿石的主要有用矿物成分为金红石,其特征见后述,其它矿物特征如下:

其它含钛矿物有钛铁矿、锐钛矿和白钛矿等,含量小于1%,有时交代金红石。其中的锐钛矿多呈板状、粒状,褐色、黑褐色,呈细脉状产于石英间隙中,部分在黑云母片间。

普通角闪石含量30%~70%,一般在45%以上。呈柱状、纤柱状集合体平行定向分布。少数角闪石具有变斑晶,多数金红石分布在角闪石晶体间隙中,少数角闪石有绿泥石化和阳起石化现象,且定向排列。

绿帘石呈粒状、短柱状,含量5%~20%,呈黄褐色、褐色多色性。局部具有定向性,多与金红石密切伴生。

斜长石呈变晶粒状,粒度0.1~0.5 mm,多数为钠长石,含量一般10%~35%。较大晶体内包嵌有绿帘石、普通角闪石,常与他形变晶粒状石英组成浅色长英质条带,与以普通角闪石为主的暗色条带相间定向分布。

黑云母呈片状、片状集合体,含量5%~25%。

石英呈粒状,含量一般5%~20%,大小0.1~0.25 mm,其晶体长轴具有拉长现象。

白云母呈片状,含量3%~20%,无色,常与黑云母共生一起,片理大致定向排列,可见交代黑云母。

磷灰石多呈变晶粒状,含量一般小于1%,零星分布于暗色矿物条带中,长轴定向排列。

3.3 结构构造

矿石的主要结构类型有鳞片粒柱状变晶结构、柱状变晶结构、片状结构等;主要的构造类型为片状构造。

3.4 矿石类型

按照矿石的矿物成分,可以划分为两个类型:角闪片岩型包括角闪片岩、黑云角闪片岩、黑云斜长角闪片岩、黑云绿帘角闪片岩等;斜长片岩型矿石包括斜长片岩、黑云斜长片岩和二云斜长片岩等。本区以角闪片岩类矿石为主,斜长片岩类矿石多呈薄层或透镜状分布于矿体边部。

4 矿体围岩及夹石

矿体围岩及夹石有两类:一类是二云石英片岩,与矿体界线清楚,易于识别,此类围岩及夹石中金红石含量一般很低, RTiO_2 多小于0.5%。另一类与矿石岩性相同, RTiO_2 含量0.3%~1.5%,需依靠分析结果区分。其化学成分特征是 SiO_2 含量较高, RTiO_2 、 TTiO_2 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 P 含量较低(见表2)。

5 金红石特征

5.1 主要矿石中的金红石特征

本区不同含矿岩石中的金红石具有不同特征,且同类含矿岩石因所处位置不同也具有不同特点,整体特征如下:

表2 I线剖面矿石和夹石的化学成分

岩性	RTiO_2	TTiO_2	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P	LoSS	S
角闪片岩类矿石(22)	2.05	2.79	48.62	13.65	11.91	6.86	7.44	1.92	0.58	0.19	4.20	0.01
斜长片岩类矿石(9)	2.27	3.05	49.46	14.16	11.95	6.55	6.17	1.75	0.77	0.23	4.17	0.01
含矿岩石平均值	2.11	2.85	48.82	13.77	11.92	6.78	7.13	1.88	0.63	0.20	4.19	0.01
黑云斜长片岩夹矸	0.28	0.70	65.18	13.74	7.93	0.57	2.34	0.47	0.90	0.07	4.37	0.01

测试单位:河南省地矿局第二地质勘查院化验室。

角闪片岩中的金红石呈三种形态存在:(1)柱状、自形短柱状,呈黄褐色、黑褐色,大小一般 $0.1 \times 0.15 \text{ mm}$,多数分布于角闪石颗粒或解理缝隙中,部分金红石晶体边部被钛铁矿交代;(2)粒状,呈浅黄褐色、浅褐色,粒径 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ 之间,多数分布于角闪石颗粒或绿帘石颗粒中;(3)针柱状、针状,呈浅棕色、浅褐色,多分布于石英间隙中。

黑云角闪片岩中的金红石可分为两类:(1)柱状、自形短柱状或粒状集合体,呈棕褐色、红棕色、黑褐色,大小 $0.06 \times 0.2 \sim 0.1 \times 0.25 \text{ mm}$;(2)粒状,呈无色、浅黄褐色、浅棕色或黄褐色,粒径一般 $0.08 \sim 0.15 \text{ mm}$ 。

斜长角闪片岩中的金红石呈黄褐色、红棕色、浅褐色,为柱状或半自形粒状集合体,大小一般 $0.04 \times 0.12 \sim 0.05 \times 0.18 \text{ mm}$,分布于角闪石、斜长石晶体间隙中,有的分布在角闪石中。

黑云斜长片岩中的金红石呈半自形柱状,大小一般 $0.03 \times 0.094 \sim 0.05 \times 0.135 \text{ mm}$,多呈集合体聚集。在集合体及较大晶体中有普通角闪石及其蚀变物包嵌。

二云片岩中的金红石为红棕色、红褐色、浅棕色,呈柱状、短柱状或粒状,粒径以 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ 为主,主要分布于黑云母、白云母间隙中。

5.2 金红石的赋存状态和粒度变化特征

5.2.1 金红石嵌布状态

表3 角闪片岩类矿石中金红石嵌布状态 %

嵌连矿物	颗粒数	含量	合计
角闪石粒间金红石	116	30.69	
角闪石与斜长石粒间金红石	89	23.55	
斜长石粒间金红石	25	6.61	
角闪石、斜长石及绿帘石粒间金红石	22	5.82	
黑云母粒间金红石	12	3.17	
斜长石与黑云母粒间金红石	10	2.65	76.45
斜长石与绿帘石粒间金红石	6	1.59	
绿帘石粒间金红石	5	1.32	
角闪石与褐铁矿粒间金红石	3	0.79	
角闪石与磷灰石粒间金红石	1	0.26	
角闪石包裹金红石	42	11.11	
斜长石包裹金红石	39	10.32	
黑云母包裹金红石	8	2.12	23.55
合计	378	100	100

鉴定单位:河南省岩石矿物测试中心。

金红石多嵌布在脉石矿物之间,占76.45%;其余呈被包裹状态(见表3)。包裹金红石,尤其斜长石包裹金红石较难与载体矿物完全单体解离。粒间金红石相对容易单体解离。

5.2.2 金红石粒度

金红石自然颗粒大小是决定回收率的重要因素之一。本区金红石最小粒度为 0.008 mm ,最大粒径 1.01 mm ,多在 $0.08 \sim 0.70 \text{ mm}$ 之间,金红石自然粒度统计见表4,原矿筛析结果见表5。一般在角闪片岩类矿石中的金红石粒度相对较大,斜长片岩中的金红石粒度相对较小。角闪石、绿帘石等脉石矿物晶粒较大时金红石粒度相对较大,反之较小。

表4 金红石自然粒度统计

粒径范围/mm	颗粒数 n	颗粒含量/%	平均粒径 d/mm	n * d 值 /mm	近似面积含量/%
>1.000	1	0.27	1.010	1.010	1.94
-1.000 +0.701	6	1.59	0.819	4.914	9.42
-0.701 +0.295	36	9.52	0.446	16.056	30.77
-0.295 +0.175	50	13.23	0.226	11.300	21.65
-0.175 +0.125	36	9.52	0.147	5.292	10.14
-0.125 +0.074	61	16.14	0.101	6.161	11.81
-0.074 +0.043	86	22.75	0.055	4.730	9.06
-0.043 +0.010	95	25.13	0.028	2.660	5.10
≤0.010	7	1.85	0.008	0.056	0.11
合计	378	100		52.179	100

鉴定单位:河南省岩石矿物测试中心。

表5 金红石原矿筛析结果

粒度级别 /mm	产率/%		品位 RTiO ₂ /%		RTiO ₂ 分布率/%	
	级别	累积	级别	累积	级别	累积
-3 +1	11.24	11.24	2.54	2.54	13.12	13.12
-1 +0.5	13.35	24.59	2.26	2.39	13.87	26.99
-0.5 +0.3	9.18	33.77	2.43	2.40	10.25	37.24
-0.3 +0.15	13.29	47.06	3.21	2.63	19.61	56.85
-0.15 +0.076	12.28	59.34	3.65	2.84	20.60	77.45
-0.076 +0.040	10.58	69.92	2.93	2.85	14.25	91.70
-0.040	30.08	100.0	0.60	2.18	8.30	100.0
合计	100.00	100.0	2.18	2.18	100.00	100.0

测试单位:河南省岩石矿物测试中心。

6 选矿试验

6.1 试样采取

样品在 I 线、A₂ 线、II 线和 A₃ 线探槽中的 1 号

和2号富矿体所在位置和本次施工的浅井中按比例采取,混合在一起,作为一个大样进行选矿试验。

6.2 常规选矿试验

通过对试样磨矿细度研究、磨矿擦洗沉降脱泥试验、脱泥—重选与直接重选脱泥抛尾对比试验、螺旋溜槽脱泥分选试验、重选脱泥抛尾磨矿擦洗细度条件试验、重选(摇床)脱泥抛尾给矿量试验、重选脱泥抛尾工艺磨矿细度优选试验、重选脱泥抛尾工艺最佳条件验证试验、重选产品考察、重选中矿再磨重选试验、重选精矿磁选条件试验等研究,综合比较磁选精矿的品位和回收率,确定重选粗精矿的精选采用擦洗—重选—磁选工艺流程为宜。采用磨矿擦洗—重选—磁选—重选闭路流程试验,结果获得的金红石粗精矿的产率为2.08%,精矿品位($RTiO_2$)为76.58%,回收率为74.78%。经光谱半定量分析,金红石磁选精矿中的杂质主要为 SiO_2 、Ca、Mg、Al、Fe等,为进一步提高精矿品位,对磁选粗精矿进行了电选提纯试验、重选提纯试验和反浮选提纯试验,整体效果均不够理想,精矿品位均小于90%。最终精矿品质和回收率难以兼顾。

表6 微生物提纯粗精矿最终结果 %

名称	产率	品位($RTiO_2$)	回收率
金红石粗精矿	2.08	76.58	74.78
微生物提纯精矿	1.65	91.07	70.55
尾矿	0.43	20.97	4.23

表7 最终精矿产品质量分析结果 %

成分	$RTiO_2$	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	P	S	合计
含量	91.07	1.50	1.85	3.440	350.12	0.005	0.025	98.36	

测试单位:河南省岩石矿物测试中心。

6.3 磁选精矿微生物提纯试验

为在提纯金红石磁选粗精矿方面有新的突破,受微生物脱硅在铝土矿上应用效果较好的启发,经反复试验,最终研制成功了低成本、高回收率的微生物浸出法新工艺。试验流程见图2;金红石精矿品位($RTiO_2$)从76.58%提高到91.07%,提高了18.92%;回收率从74.78%降到70.55%(见表6、表7)。最终选矿试验流程见图3。

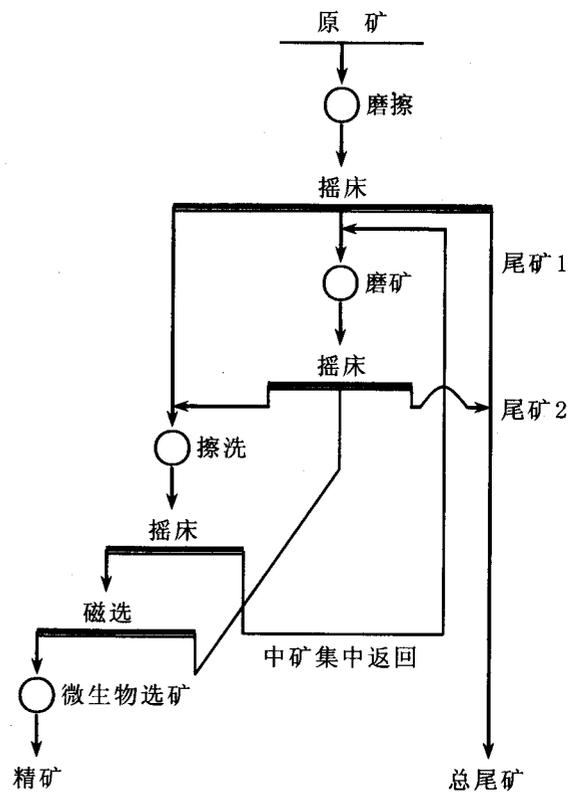


图3 金红石选矿工艺流程

微生物选矿时产生有大量的有机硅。有机硅兼备无机材料与有机材料的性能,具有耐高温、绝缘、无毒无味等优异特性。另据其它地区尾矿成瓷试验,金红石选矿的尾矿粉经简单配方后能够瓷化,可作为原料应用于深色建筑陶瓷和卫生陶瓷。以后在扩大试验研究过程中应加强对有机硅回收的研究,同时应加强尾矿综合利用研究工作。

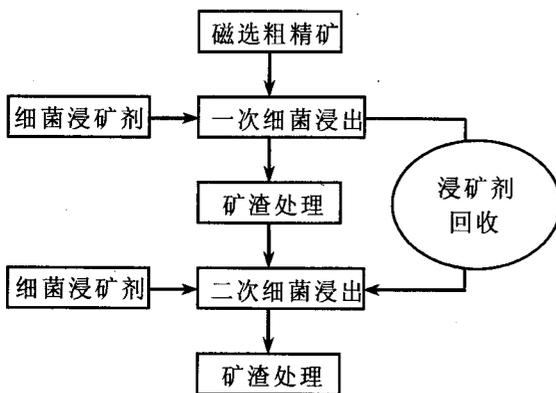


图2 微生物提纯试验流程

7 结论

(1)左老庄组一段(Pt_2z^1)上部是金红石富矿体的主要赋存部位。左老庄组二段底部的深灰色石英岩在区内连续分布,特征明显,可作为寻找南召—泌阳金红石矿带内粗粒金红石矿的标志层。

(2)区内的1号和2号矿体规模大、品位较高、金红石颗粒较粗,可作为进一步研究和开发利用的先期地段。

(3)金红石自然颗粒大小多在0.08~0.70 mm之间,且多嵌布在角闪石、斜长石、黑云母等脉石矿物之间,占76.45%;其余呈被包裹状态。粒间金红石相对易单体解离,包裹金红石,尤其斜长石包裹的金红石较难与其载体矿物完全单体解离。

(4)首次应用微生物提纯金红石磁选粗精矿,使金红石品位($RTiO_2\%$)提高了18.92%。微生物法提纯金红石粗精矿,不但能去除金红石表面的杂质,还能去除金红石微裂隙中的杂质,解决了酸洗法提纯金红石的多种弊端(如破坏金红石表面性能;不能去除微裂隙中的杂质,只能靠进一步磨细提高金红石精矿品位;环境污染问题难处理等)。采用磨矿擦洗—重选—磁选—重选—微生物选矿工艺流

程,获得最终精矿指标为:精矿产率1.65%,品位($RTiO_2$)91.07%,回收率70.55%。该选矿工艺不但能提高金红石精矿品位和回收率,还能使金红石保持相对较粗的粒度,保证金红石精矿的品质,而且环保。

建议以后加强选矿的副产品(有机硅和尾矿)综合利用的研究,以降低选矿成本,提高经济效益,达到可持续发展目的。微生物提纯金红石新方法的深入研究可作为开发利用南召—泌阳金红石矿带金红石矿的突破口。

8 致谢

参加选矿试验和岩矿鉴定等工作的还有河南省岩石矿物测试中心的王绢、杨艳芳和河南省区调队的裴玉华及国土资源部中南矿产资源监督检测中心的黄惠兰等,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 王绍龙,赵荣军. 东秦岭褶皱带河南段发现超大型金红石矿[J]. 前寒武纪研究进展,2002,25(3-4):170-173.